	<p>KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO Jalan MT Haryono 167 Telp & Fax. 0341 554166 Malang 65145</p>	<p>KODE PJ-01</p>
---	---	------------------------------

**PENGESAHAN
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

NAMA : MARINA DICARARA
NIM : 105060307111047 - 63
PROGRAM STUDI : TEKNIK KONTROL
**JUDUL SKRIPSI : IMPLEMENTASI PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM FERMENTASI
 SUSU DENGAN KONTROL LOGIKA FUZZY BERBASIS
 MIKROKONTROLER ARDUINO MEGA**

TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:

Pembimbing 1

Pembimbing 2

M. Aziz Muslim, ST. MT. Phd
NIP. 19741203 200012 1 001

Dr. Ir. Erni Yudaningtvas, MT
NIP. 19650913 199002 2 001

**IMPLEMENTASI PENGENDALIAN SUHU PADA
SISTEM FERMENTASI SUSU DENGAN KONTROL LOGIKA *FUZZY*
BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO MEGA**

MAKALAH SEMINAR HASIL

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

MARINA DICARARA

NIM. 105060307111047 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2014

IMPLEMENTASI PENGENDALIAN SUHU PADA SISTEM FERMENTASI SUSU DENGAN KONTROL LOGIKA *FUZZY* BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO MEGA

Marina Dicarara, Aziz Muslim, Erni Yudaningtyas

Teknik Elektro Universitas Brawijaya
Jalan M.T Haryono No.167 Malang 65145 Indonesia
Email : marinadica.rara.24@gmail.com

Abstrak— Fermentasi susu adalah proses pengolahan susu dengan menggunakan mikroorganisme atau bakteri, yang bertujuan untuk meningkatkan rasa asam. Rasa asam ini mampu menghambat bakteri penyakit di dalam tubuh. Bakteri yang digunakan dalam fermentasi ini adalah *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Bakteri ini memiliki suhu maksimal 45°C untuk hidup. Pada penelitian ini digunakan suhu 42°C dan proses fermentasi 4 jam. Hasil dari fermentasi susu dinamakan Yoghurt. Penelitian ini menggunakan sensor PT100 sebagai sensor utama untuk parameter pengendali suhu dalam proses fermentasi. Arduino Mega digunakan sebagai alat pengontrol utama dengan Kontrol Logika Fuzzy (LKF). Proses perancangan LKF pada penelitian ini menggunakan 5 *Membership Function* (MF) dengan metode Inferensi *MIN-MAX Composition* dan metode Defuzzifikasi *Weight Average* (WA). Pada proses pengendalian, didapatkan hasil respon sistem yang sesuai dengan *settling time* sebesar 4,65 menit. Respon pada kondisi *steady state* menghasilkan suhu 42,16 °C. Proses fermentasi pada sistem dilakukan selama 4 jam dengan range suhu sebesar 41,87-42,99 °C selama 4 jam.

Kata Kunci— Fermentasi Susu, Pengendalian Suhu, Kontrol Logika Fuzzy, Arduino Mega.

I. PENDAHULUAN

Manusia yang sehat, pastinya mengkonsumsi karbohidrat dan protein. Susu adalah salah satu sumber protein. Protein dalam susu biasa dinyatakan dalam *Protein Efficiency Ratio* (PER). Nilai rata-rata PER dalam susu sebanyak 3,1 kali lebih tinggi dibandingkan dengan daging sapi, kedelai dan gandum [1]. Saat ini susu dapat diolah kembali sebagai yoghurt. Yoghurt adalah suatu produk fermentasi yang diperoleh dari susu segar dengan campuran bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* [2].

Lactobacillus bulgaricus tumbuh sangat baik pada rentang pH 5,5-6,5 dengan suhu 45°C [3]. Sedangkan *Streptococcus thermophilus* tumbuh sangat baik pada rentang suhu 37°-45°C. *Streptococcus thermophilus* akan tumbuh baik pada ekosistem suhu

yang tepat, sehingga menghasilkan asam laktat yang baik. Sedangkan *Lactobacillus bulgaricus* akan tumbuh mengikuti nilai asam dihasilkan *Streptococcus thermophilus*. Pada proses fermentasi ini, suhu merupakan bagian terpenting yang harus diperhatikan. Oleh karena itu, pada penelitian ini pengendalian suhu merupakan aspek yang ditekankan agar mendapatkan hasil fermentasi susu yang sesuai dengan standard yang telah ditentukan. Proses pengendalian suhu ini dilakukan dengan menggunakan implementasi Kontrol Logika Fuzzy (LKF) sehingga menghasilkan data lebih banyak. Sedangkan mikrokontroler Arduino Mega2560 digunakan sebagai perangkat yang mempermudah pemrograman dan mengendalikan sistem. Diharapkan dengan menggunakan implementasi LKF berbasis mikrokontroler Arduino Mega2560, suhu fermentasi susu dapat dikendalikan dengan baik. Sehingga menghasilkan nilai asam dari dua bakteri, yaitu: *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus* lebih baik daripada menggunakan satu jenis macam bakteri [4]. Karena itu perbandingan kedua bakteri ini harus dipertahankan 1:1 agar asam yang diproduksi terbentuk dengan cepat.

Proses pembuatan yoghurt yang alami biasanya susu dipanaskan 90°C selama 1 jam. Selanjutnya didinginkan suhunya sampai 37°-45°C, saat suhu telah mencapai 37°-45°C maka dilakukan penambahan bakteri ke dalam susu sebanyak 50–60 ml/liter. Setelah ditambahi bakteri, disimpan pada ruangan hangat 30 - 40°C dan dalam keadaan tertutup rapat selama 3 hari [5]. Sedangkan untuk alternatif penelitian kali ini, proses pembuatan yoghurt dilakukan dengan cara mengendalikan suhu dengan setpoint 42°C agar tidak melebihi ekosistem bakteri yang ditentukan. Sehingga waktu efektif proses fermentasi 4 jam dan mendapatkan nilai pH 4,2–4,4 berbasis LKF dan Arduino Mega2560.

Pada penelitian ini, dibutuhkan spesifikasi alat seperti: sensor suhu, motor DC servo, kompor listrik, Kontroler Logika fuzzy, ARDUINO MEGA pada bab selanjutnya. Dan dilanjutkan perancangan modul penelitian ini.

II. SPESIFIKASI ALAT

A. Sensor Suhu PT100

Sensor adalah suatu alat yang digunakan mendeteksi adanya perubahan lingkungan fisik ataupun kimia. Dalam penelitian ini yang digunakan berupa sensor suhu

PT100, dapat dilihat dalam Gambar 1. PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan 'PT'.



Gambar 1. Sensor Suhu PT100

PT100 termasuk golongan *Resistance Temperature Detector* (RTD) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. Semakin panas benda tersebut, semakin besar atau semakin tinggi nilai tahanan listriknya, begitu juga sebaliknya. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm.

B. Motor DC Servo

Motor servo ini berfungsi sebagai penggerak putaran *dimmer* yang menunjukkan posisi sudut yang ditentukan. Motor servo adalah motor dengan sistem *closed feedback* yang berarti posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada dalam motor servo. Motor servo dapat dilihat dalam Gambar 2.

Motor ini terdiri atas sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran servo. Sedangkan sudut sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.



Gambar 2. Motor DC Servo

C. Kompor Listrik Induksi

Kompor listrik induksi dalam penelitian ini digunakan untuk menghasilkan panas yang dapat membantu proses fermentasi, ditunjukkan dalam Gambar 3. Kompor listrik tersebut memiliki rentang kerja daya antara 80-700 Watt. Kompor induksi bekerja akibat efek induksi yang diakibatkan oleh arus listrik yang melewati kumparan yang ada dalam kompor tersebut.



Gambar 3. Kompor Listrik

Kompor listrik induksi hampir sama dengan kompor listrik biasa, menggunakan energi listrik. Perbedaannya terletak dari cara kerjanya. Kompor listrik induksi biasa menggunakan filamen untuk menghasilkan panas, sedangkan kompor induksi menggunakan alat masak itu sendiri (panci atau kuali) untuk menghasilkan panas. Jadi, ketika kompor ini tidak memiliki beban makan, tidak ada panas yang dihasilkan.

D. Kontroler Logika Fuzzy (KLF)

Fuzzy secara harfiah berarti samar, sedangkan kebalikannya dalam hal ini adalah *Crisp* yang secara harfiah berarti tegas. Dalam kehidupan sehari-hari nilai samar lebih akrab daripada nilai tegas. Temperatur tertentu biasa dinyatakan sebagai panas, agak panas, atau sangat dingin daripada dinyatakan dalam nilai terukur tertentu [6].

E. ARDUINO MEGA

Arduino Mega adalah board mikrokontroler berbasis ATmega 168/328, dapat dilihat dalam Gambar 4. Memiliki 53 pin input dari output digital dimana 15 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output *Pulse Width Modulation* (PWM) dan 16 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset.

Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang ke Arduino Mega berbeda dengan semua board sebelumnya dalam hal koneksi USB-to-serial yaitu menggunakan fitur Atmega8U2 yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial berbeda dengan board sebelumnya yang menggunakan chip FTDI *driver* USB-to-serial.



Gambar 4. Arduino Mega

III. PERANCANGAN MODUL

Perancangan ini meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak, perangkat keras meliputi perancangan alat fermentasi susu dan perancangan rangkaian elektrik yang terdiri atas rangkaian pengondisi sinyal, *driver* motor, dan *dimmer*. Perancangan

perangkat lunak meliputi pembuatan program pada Arduino Mega untuk keperluan pengendalian suhu menggunakan KLF.

A. Perancangan Alat Fermentasi Susu

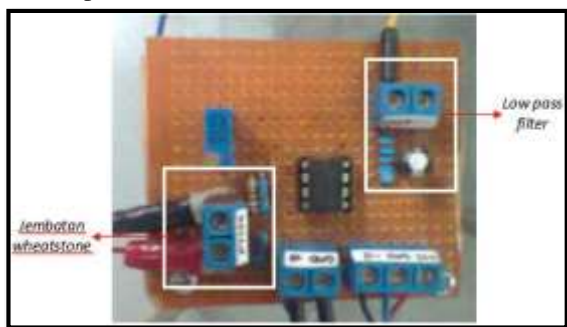
Konstruksi alat fermentasi susu dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Konstruksi Alat Fermentasi Susu

B. Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal (RPS) Sensor PT100

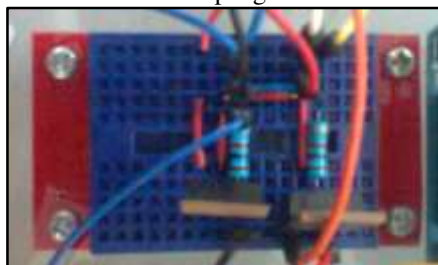
RPS sensor PT100 terdiri atas 3 bagian yaitu rangkaian jembatan wheatstone, penguat, dan *low-pass filter*, dapat dilihat dalam Gambar 6.



Gambar 6. RPS PT100

C. Driver Motor

Driver motor merupakan rangkaian dalam 1 *project board*, dapat dilihat dalam Gambar 7. *Driver* motor digunakan sebagai regulator sinyal PWM bagi motor servo dan motor DC untuk pengaduk.



Gambar 7. *Driver* Motor

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Sebelum pengujian sistem keseluruhan, perlu dicari karakteristik plant untuk menentukan kontroler yang tepat. Setelah didapatkan karakteristik dari pengujian, kemudian dapat dilakukan penyesuaian pada sistem. Pengujian ini meliputi pengujian perangkat keras dalam hal ini pengujian sensor PT100, pengujian rangkaian

pengondisi sinyal, pengujian motor DC servo, pengujian *dimmer* kompor, dan pengujian sistem keseluruhan.

A. Pengujian Sensor PT100

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan pembacaan sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat perubahan resistansi sensor PT100, dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian PT100

C	Pengujian (Ω)	Perhitungan (Ω)	Error (%)
25	110,6	109,625	0,89%
30	112,6	111,55	0,94%
35	114,2	113,475	0,64%
40	115,2	115,4	0,17%
45	117,8	117,325	0,40%
50	119,9	119,25	0,55%
55	122	121,175	0,68%
60	123,9i	123,1	0,65%
65	125,9	125,025	0,70%
70	126,1	126,95	0,75%
75	127,9	128,875	1,03%
80	130,2	130,8	0,46%
85	132,2	132,725	0,40%
90	134,2	134,65	0,33%
Rata-Rata			0,61%

Dalam penelitian ini, suhu dipertahankan antara 40-45°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PT100 memiliki sifat linear dalam melakukan pembacaan perubahan suhu.

B. Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal (RPS)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat hasil pembacaan suhu melalui *Serial Monitor* Arduino Mega. Hasil pengujian setelah kalibrasi dapat dilihat dalam Tabel 3 dan Gambar 8.

Tabel 3. Hasil Pengujian RPS PT100 setelah kalibrasi

Suhu Pembacaan Termometer ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Pembacaan Serial Monitor ($^{\circ}\text{C}$)	Error ($^{\circ}\text{C}$)
30.00	29.79	0.21
35.00	34.425	0.58
40.00	39.755	0.25
45.00	44.72	0.28
50.00	49.55	0.45
55.00	54.34	0.66
60.00	59.37	0.63
65.00	64.385	0.62
70.00	69.45	0.55
75.00	74.55	0.45
80.00	79.43	0.57
Rata-rata		0.48



Gambar 8. Grafik PT100 yang sudah dikalibrasi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa RPS PT100 setelah dilakukan kalibrasi dapat membaca perubahan suhu dengan baik dengan error rata-rata 0,48.

C. Pengujian Motor DC Servo

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan pulsa PWM terhadap sudut putaran dan *duty cycle* pada motor DC servo. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Motor DC Servo

Sudut	Duty Cycle (%)	PWM
10	3.2	8.3
20	3.8	9.6
30	4.3	10.9
40	4.8	12.2
50	5.3	13.5
60	5.8	14.9
70	6.3	16.1
80	6.8	17.4
90	7.4	18.7
100	7.9	20.0
110	8.4	21.3
120	8.9	22.7
130	9.4	24.0
140	9.9	25.3
150	10.4	26.5
160	10.9	27.9
170	11.5	29.2
180	12	30.6

Hasil pengujian motor DC Servo menunjukkan bahwa semakin besar pulsa, maka sudut putaran DC servo akan semakin besar karena *duty cycle* juga semakin besar.

D. Pengujian Rangkaian Dimmer

Pengujian ini untuk mengetahui pengaruh sudut putaran variabel resistor pada *dimmer* elektrik terhadap besarnya arus dan daya kompor listrik. Pengujian rangkaian *dimmer* dapat dilihat dalam Gambar 9. Hasil pengujian *dimmer* kompor ditunjukkan pada Tabel 5. Dari tabel pengujian, didapatkan hasil sudut *dimmer* dibawah 155° maka kompor listrik dalam keadaan tidak aktif sehingga hanya menghasilkan daya sebesar 14W. Grafik hasil pengujian dapat dilihat dalam Gambar 10.



Gambar 9. Percobaan Pengujian *Dimmer* Kompor

Tabel 5. Hasil Pengujian *Dimmer* Kompor

No.	Data			
	Sudut Dimmer (°)	Arus (A)	Daya (W)	Cos Ø
1	120	0,34	14	0,2
2	130	0,34	14	0,2
3	140	0,34	14	0,2
4	150	0,34	14	0,2
5	160	2,48	506	0,94
6	170	2,51	510	0,95
7	180	2,55	520	0,98

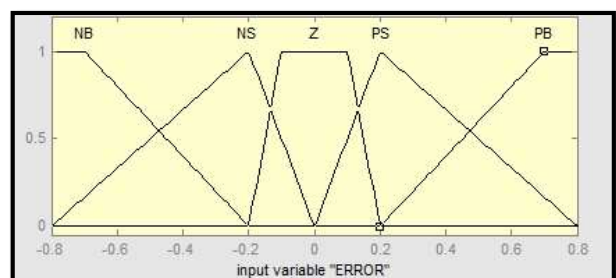


Gambar 10. Grafik Hubungan Sudut Putaran *Dimmer* dengan Daya Kompor Listrik

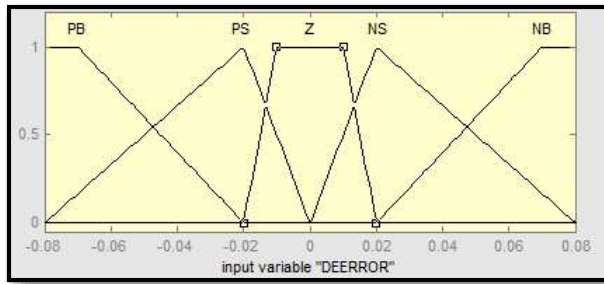
E. Penentuan Kontrol Logika Fuzzy

Penentuan kontrol logika *fuzzy* dengan metode Inferensi *MIN-MAX Composition* dan metode Defuzzifikasi *Weight Average (WA)*. Pada dasarnya adalah mencari 5 *membership function* dengan mencoba berbagai nilai hingga didapatkan respon sistem yang mendekati setpoint, yaitu 42° C.

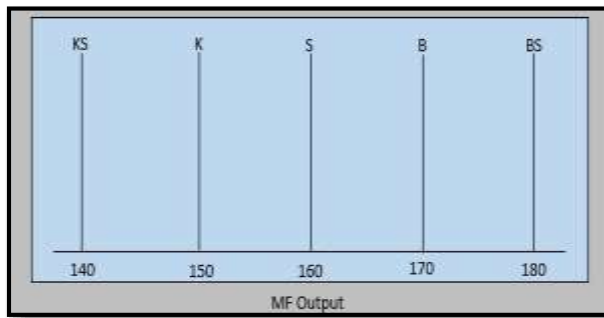
Input dan Output *membership function* yang digunakan terdapat pada Gambar 11 – Gambar 13.



Gambar 11. MF Input Error



Gambar 12. MF Input Delta Error



Gambar 13. MF Output

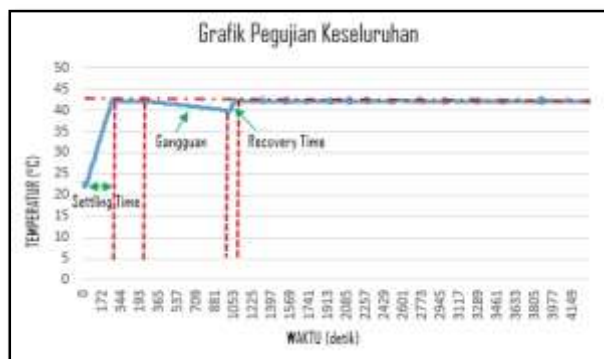
Rule fuzzy yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rule Fuzzy

dE	NB	NS	Z	PS	PB
NB	BS ¹	BS ⁶	B ¹¹	B ¹⁶	S ²¹
NS	BS ²	B ⁷	B ¹²	S ¹⁷	K ²²
Z	B ³	B ⁸	S ¹³	K ¹⁸	K ²³
PS	B ⁴	S ⁹	K ¹⁴	K ¹⁹	KS ²⁴
PB	S ⁵	K ¹⁰	K ¹⁵	KS ²⁰	KS ²⁵

F. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja perangkat keras dan perangkat lunak serta mengetahui respon keseluruhan sistem dengan LKF. Setpoint yang digunakan adalah 42 °C. Dari proses implementasi tersebut dihasilkan respon seperti pada Gambar 14.

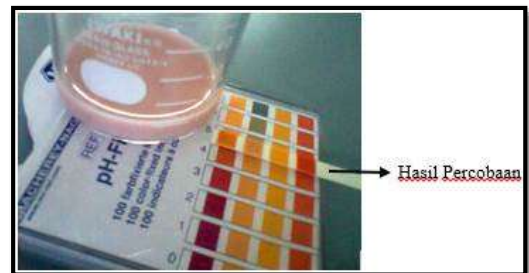


Gambar 14. Grafik Respon Sistem Keseluruhan

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 14 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 279 detik. *Settling Time* didapat ketika suhu telah mencapai 42,16 °C.
2. Suhu tertinggi dari hasil pengujian keseluruhan sistem adalah 42,99°C.
3. Setelah mencapai keadaan *steady state*, *plant* diberi gangguan berupa pengangkatan tabung atau panci fermentasi yang akan menyebabkan suhu dalam tabung atau panci fermentasi menurun selama 13,3 menit.
4. Setelah diberi gangguan, tabung atau panci fermentasi kembali diletakkan diatas kompor dan didapatkan *recovery time* sebesar 22 detik.
5. Respon yang dihasilkan mampu mempertahankan suhu selama 4 jam pada rentang suhu 39,9– 42,99°C.

Berdasarkan analisis kinerja pengujian sistem secara keseluruhan, maka dapat disimpulkan bahwa sistem pengendalian suhu pada alat fermentasi susu dapat berjalan dengan baik menggunakan kontrol logika fuzzy. Penggunaan kontrol logika fuzzy pada sistem menghasilkan respon suhu yang baik. Berikut Gambar 15 merupakan hasil pembuktian nilai pH menggunakan kertas lakmus, menunjukkan pada pH 4.



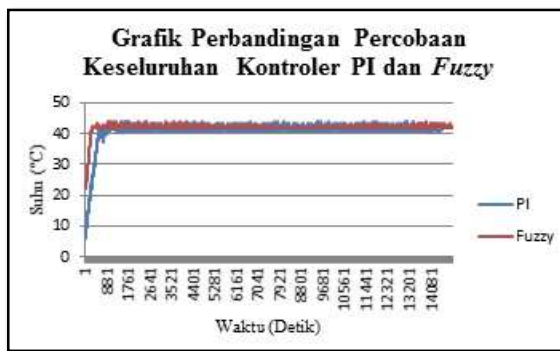
Gambar 15. Kertas Lakmus bernilai pH 4.

G. Perbandingan Respon Sistem Kontrol PI dengan KLF

Fermentasi susu sebelumnya telah diteliti oleh Nuni Hutami Stanto, ST Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya pada tahun 2014 dengan kontrol PI. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan kontroler PI didapatkan *error steady state* sebesar 2,5°C dengan suhu tertinggi 44,50 °C. Berikut perbandingan kontroler PI dan KLF, dapat dilihat dalam Tabel 7 dan Gambar 16

Tabel 7. Perbandingan kontroler PI dan Fuzzy

PENELITIAN	Error Steady State (E_{ss})	Maximum Overshoot (M_p)
PI (Hutami, N., 2014)	2,5 °C	44,50 °C
Kontrol Logika Fuzzy	0,83 °C	42,99 °C



Gambar 16. Grafik Perbandingan Percobaan keseluruhan Kontroler PI dan Fuzzy

V. KESIMPULAN DAN PROSPEK

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Perancangan pengendali suhu pada alat fermentasi susu berbasis Arduino Mega2560 dan kontroler logika *fuzzy* menggunakan 5 label *membership function* untuk masukan *Error* dan *delta Error*, dengan menggunakan metode inferensi *Max-Min*, dan metode defuzzifikasi *Weight Average (WA)* dapat mencapai nilai *setpoint* dengan *error steady state* sebesar 0,83°C atau 1,976%, *settling time* (t_s) = 279 detik.
- Hasil perbandingan KLF pada sistem fermentasi susu ini didapatkan nilai respon sistem dengan *maximum overshoot* yang lebih kecil, dibandingkan dengan kontroler PI.

B. Saran.

- Penempatan sensor PT100 harus diperhatikan dan hendaknya lebih mendekati bagian dasar tabung fermentasi karena perbedaan pembacaan suhu di permukaan dan di dasar tabung.
- Kecepatan dan panjang pengaduk pada proses fermentasi sebaiknya lebih diperhatikan, agar keasamaan yang dihasilkan di permukaan dan di dasar tabung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fajar, Ikhsan. 2011. *Protein Dalam Susu*. (Online:<http://meitanteiamiterasu.wordpress.com/2011/07/10/protein-dalam-susu/>, diakses tanggal 4 Februari 2014).
- [2] Heson, A dan M Trout. 1964. *Judging dairy products*. Fourth Edition . Theolsen pyblising company. Milmanke.
- [3] Helferich, W and D . Westhoff. 1980. *All absut yoghurt* prentice-Hall, Mc, EngelWood-Cliffs. New Yersey.
- [4] Widodo. 2002. *Proses Pembuatan Yoghurt Yang Baik dan Benar*. (Online:<http://lordbroken.wordpress.com/2012/06/18/proses-pembuatan-yogurt-yang-baik-dan-benar/>, diakses tanggal 20 September 2014).

- [5] Abdulah, 2011. *Proses Fermentasi Yoghurt* (Online:<http://gudangilmucenter.blogspot.com/2011/09/proses-fermentasi-yoghurt.html>, diakses pada tanggal 6 Februari 2014)
- [6] Yan, Jun., Ryan, Michael., Power, James. 1994. *Using Fuzzy Logic*. UK: Prentice Hall International.